

## JURNAL PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA

### Vol 10, No 1 (2019) h.105-115

<http://jurnal.untan.ac.id/index.php/PMP>



## SIKAP MAHASISWA CALON GURU TERHADAP REPRESENTASI FISIKA

**Judyanto Sirait**

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Tanjungpura,

e-mail: [judyantosirait@gmail.com](mailto:judyantosirait@gmail.com)

DOI: [10.26418/jpmipa.v10i1.30032](https://doi.org/10.26418/jpmipa.v10i1.30032)

### *Abstract*

*Physics concepts can be represented in multiple ways such as verbal, diagrams, graphs, mathematical equations etc. Most previous research focused on drawing and utilizing representations to help students learn physics concepts. This study aims to investigate students' views toward physics representations while solving physics problems by involving preservice physics teachers of two universities in Kalimantan Barat. A physics representation survey was developed to measure students' perception about physics representations. The results show that the majority of the students (above 75%) agree that representations are beneficial for them to understand physics problems and physics concepts and also to find out the best solution of a problem. Some of the students say that they remain provide representations while solving a problem even though there is no extra credit given by instructors. Some of the students feel that they face impediment to grasp representations provided in some physics text books.*

**Keywords:** *Physics representations, views.*

**Received** : 10/12/2018

**Revised** : 08/01/2019

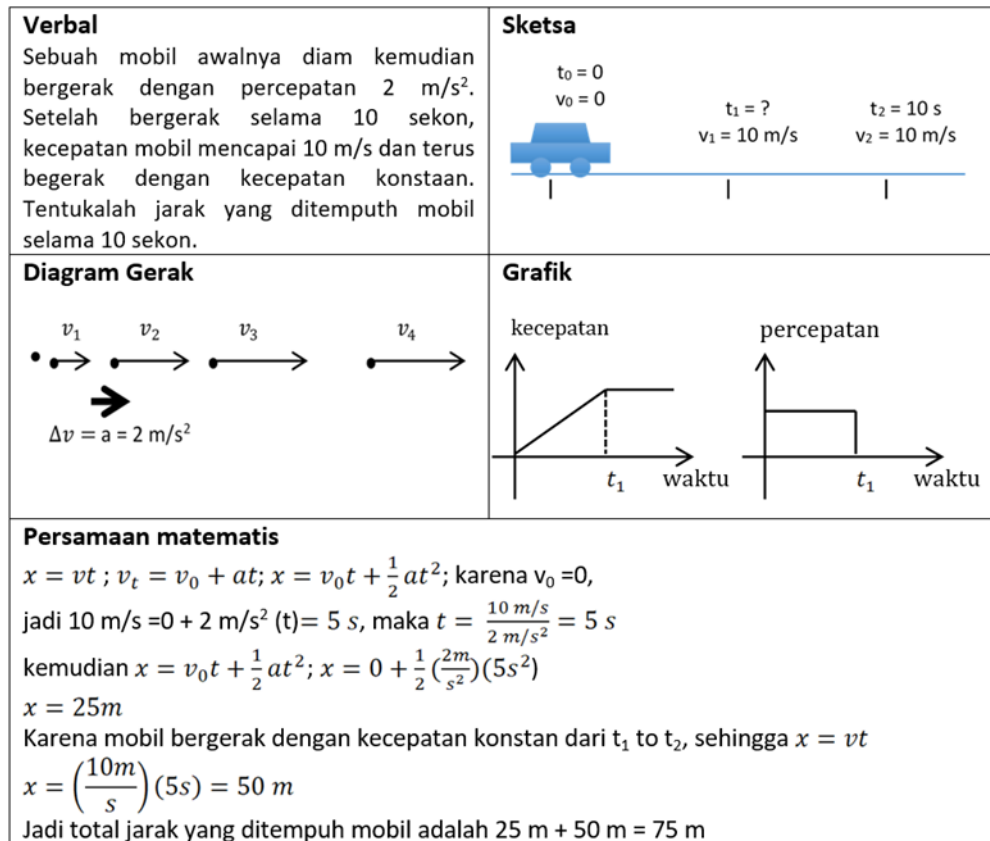
**Accepted** : 25/01/2019

Konsep fisika dapat divisualkan dalam berbagai bentuk seperti verbal, gambar atau sketsa, diagram gerak, gaya dan energi, grafik, persamaan matematis dan lain-lain yang disebut dengan representasi (McPadden & Brewster, 2017). Salah satu kemampuan yang penting di dalam penyelesaian soal fisika adalah kemampuan untuk mengubah satu representasi ke representasi yang lain, misalnya dari persamaan matematis ke grafik dan sebaliknya (Gambar 1). Bollen et al (2017) menyatakan bahwa menggunakan representasi dapat meningkatkan kemampuan pemahaman matematis dan konsep fisika mahasiswa. Selanjutnya, Klein et al (2017) mendefinisikan kemampuan representasi merupakan kemampuan membuat dan menginterpretasi multi representasi serta menerjemahkan atau mengubah bentuk satu representasi ke bentuk representasi yang lain. Kemudian, ada hubungan antara kemampuan representasi dengan kemampuan menyelesaikan soal. Sebagai contoh, mahasiswa yang konsisten menggunakan representasi akan memperoleh hasil yang lebih baik pada saat menyelesaikan soal. Berdasarkan Tippett (2016) menunjukkan bahwa kemampuan membuat dan menginterpretasi representasi dapat membantu peserta didik memahami konsep sains. Studi yang dilakukan oleh Selling (2016) mengindikasikan bahwa siswa dengan kemampuan rendah yang belajar matematika dengan melibatkan representasi dapat membantu belajar siswa. Disamping itu, siswa sangat termotivasi untuk belajar ketika mereka diberi kesempatan untuk mengklarifikasi pemahaman mereka

dengan menggambar dan merevisi representasi mereka (Carolan, Prain, & Waldrup, 2008).

Penelitian tentang representasi dalam pembelajaran fisika dapat diaplikasikan di berbagai topik fisika seperti mekanika, listrik, magnet dan kuantum. Sebagai contoh, para ahli memperkenalkan diagram benda bebas (sebuah representasi yang menggambarkan gaya-gaya yang bekerja pada sebuah benda) untuk membantu peserta didik memahami konsep gaya dan penyelesaian soalnya (Aviani, Erceg, & Mešić, 2015; Rosengrant, Van Heuvelen, & Etkina, 2009; Savinainen, Makynen, Nieminen, & Viiri, 2013).

Penggunaan representasi khususnya diagram gaya tidak selalu meningkatkan kemampuan mahasiswa ketika menyelesaikan soal. Heckler (2010) meneliti pengaruh representasi diagram gaya dalam menyelesaikan soal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang diminta untuk menggambar gaya pada saat mengerjakan soal memperoleh skor yang lebih rendah dibandingkan dengan mahasiswa yang tidak diminta. Kemudian, mahasiswa yang tidak diminta untuk menggambar diagram menggunakan intuisi daripada strategi penyelesaian yang formal. Penelitian juga dilakukan oleh Chen et al (2017) untuk menginvestigasi pengaruh pemberian diagram pada soal. Hasil menunjukkan bahwa mahasiswa kelompok rendah dan sedang yang mendapat soal dengan disertai diagram memperoleh skor 5% lebih tinggi dari mahasiswa yang tidak mendapat soal dengan diagram. Sementara, tidak ada perbedaan kemampuan mahasiswa yang signifikan dalam menyelesaikan soal



**Gambar 1** Contoh beberapa representasi dalam Fisika

untuk kelompok mahasiswa dengan kemampuan tinggi.

Pendidik dan peneliti pendidikan fisika telah mengembangkan berbagai cara untuk membantu peserta didik secara kognitif dalam belajar fisika diantaranya model, pendekatan, strategi dan juga menggunakan komputer seperti animasi, simulasi dan video. Disamping itu, sikap afektif yaitu sikap mahasiswa terhadap materi fisika juga mempengaruhi keberhasilan mereka untuk belajar konsep fisika secara mendalam. Beberapa survey telah dikembangkan untuk mengetahui sikap mahasiswa tentang belajar fisika diantaranya *Colorado Learning Attitude about Science Survey (CLASS)* (Adams et al., 2006), dan *Maryland*

*Physics Expectations (MPEx)* (Redish, Saul, & Steinberg, 1998). Pada dasarnya kedua instrumen ini mengukur sikap mahasiswa terhadap fisika dengan berbagai aspek diantaranya pemahaman konsep, penyelesaian soal, hubungan dengan kehidupan sehari-hari, hubungan dengan matematika, dan ketertarikan dalam menyelesaikan soal.

Untuk mengukur sikap mahasiswa terhadap penyelesaian soal lebih spesifik, angket telah dikembangkan dalam berbagai bahasa: dalam versi bahasa Inggris (Mason & Singh, 2010), bahasa Turki (Balta, Mason, & Singh, 2016), bahasa Indonesia (Sirait, Sutrisno, Balta, & Mason, 2017), dan bahasa Thailand (Rakkapao & Prasitpong, 2018).

**Judyanto Sirait**

Sikap Mahasiswa Calon Guru terhadap Representasi Fisika

**Tabel 1** Distribusi partisipan penelitian

Semester	UNTAN			IKIP PGRI Pontianak		
	Laki-Laki	Perempuan	Total	Laki-Laki	Perempuan	Total
I	15	37	52	5	16	21
III	12	43	55	1	11	12
V	20	42	62	5	19	24
VII	16	45	61	-	-	-

Angket tersebut mengukur metakognitif siswa dan mahasiswa dalam penyelesaian soal, peran konsep fisika, peran persamaan matematis, penggunaan representasi, penggunaan strategi penyelesaian soal. Partisipan yang dilibatkan dalam penelitian tersebut adalah siswa sekolah menengah atas hingga mahasiswa tingkat universitas baik sarjana dan pascasarjana. Salah satu tujuan dari pemberian angket tersebut adalah untuk mengelompokkan apakah partisipan masuk dalam kategori pemula atau ahli dalam menyelesaikan soal fisika.

Berdasarkan studi literatur saat ini belum ada angket secara khusus tentang sikap mahasiswa terhadap representasi fisika. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sikap mahasiswa calon guru terhadap representasi fisika dan apa motivasi mahasiswa menggambarkan representasi menggunakan angket representasi fisika (ARiF).

## METODE

### Partisipan

Penelitian ini melibatkan dua institusi yang menghasilkan calon guru fisika di Kalimantan Barat yaitu program studi Pendidikan Fisika Universitas Tanjungpura (UNTAN) sebanyak 230 orang dan program studi Pendidikan Fisika Institut

Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) PGRI Pontianak berjumlah 57 orang (Tabel 1).

### Instrumen

Angket representasi fisika (ARiF) yang dikembangkan terdiri dari 10 item dengan lima pilihan yaitu: sangat setuju, setuju, netral/tidak tahu, tidak setuju, dan sangat tidak setuju yang bertujuan untuk mengidentifikasi sikap representasi mahasiswa diantaranya jenis, penggunaan, keuntungan penggunaan, menggambarkan, dan kesulitan menggunakan representasi pada saat menyelesaikan soal fisika. Dua item (2 dan 8) dari angket ini diadopsi dari *Physics Problem Solving Questionnaire* (PPSQ) (Sirait et al., 2017) dan selebihnya dibuat sendiri (Table 2).

Sebelum diberikan kepada mahasiswa, angket tersebut divalidasi oleh dua orang dosen pendidikan fisika. Disamping validasi, reliabilitas angket juga diukur menggunakan Alpha Cronbach (Cortina, 1993; Fraenkel, Hyun, & Wallen, 2011).

$$\alpha = \left( \frac{K}{K-1} \left( 1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2} \right) \right)$$

Keterangan:

K = Banyaknya pertanyaan.

$S_j^2$  = Nilai varians jawaban pertanyaan ke-j.

$S^2$  = Nilai varians skor total.

Tabel 2 Angket representasi Fisika

No	Pernyataan
1	Saya belajar multirepresentasi seperti gambar, diagram, grafik, persamaan matematis, dll ketika belajar di SMA dan perkuliahan
2	Saya sering menggunakan multirepresentasi seperti gambar, diagram, grafik, persamaan matematis, dll ketika mengerjakan soal fisika
3	Saya menggunakan multirepresentasi untuk memudahkan saya dalam memahami soal fisika
4	Saya menggunakan multirepresentasi untuk memudahkan saya mencari jawaban yang benar
5	Saya pikir multirepresentasi akan membantu saya memahami konsep fisika
6	Saya orang yang ahli dalam merepresentasikan situasi/soal dalam berbagai bentuk seperti dalam kalimat, persamaan matematis, gambar, grafik, tabel, diagram dll
7	Ketika saya membuat multirepresentasi seperti diagram gaya dan persamaan matematis, saya akan memeriksa jawaban saya yaitu kesesuaian diagram dan persamaan
8	Saya biasanya membuat gambar atau diagram meskipun tidak ada nilai tambah yang diberikan dosen
9	Saya mengalami kesulitan menggunakan multirepresentasi yang disajikan dalam buku teks
10	Saya sering membuat representasi sendiri ketika mengerjakan soal fisika (berbeda dengan yang diajarkan di kelas ataupun dalam buku teks)

Nilai reliabilitas ( $\alpha$ ) yang diharapkan dari angket tersebut dan layak digunakan adalah lebih besar atau sama dengan 0.7.

Angket tersebut diberikan pada saat mahasiswa mengikuti perkuliahan dengan meminta ijin terlebih dahulu kepada dosen pengampu mata kuliah. Adapun waktu yang diberikan untuk mengisi angket tersebut selama 15 menit. Respon mahasiswa kemudian ditabulasi dan dikelompokkan menjadi tiga kategori yaitu setuju, netral, dan tidak setuju. Selanjutnya menghitung persentase mahasiswa untuk setiap item pernyataan dan persentase mahasiswa berdasarkan semester.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

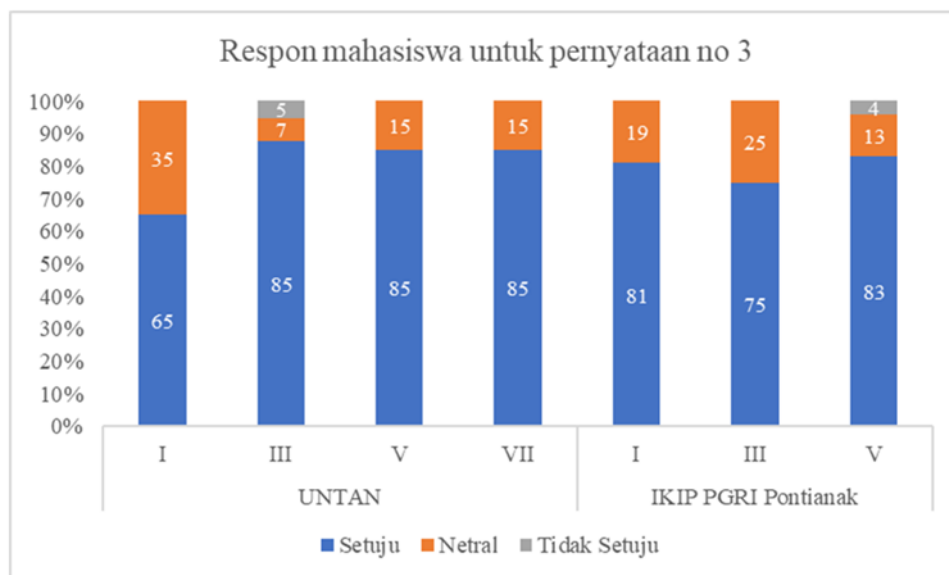
Tujuan ARiF diberikan kepada mahasiswa adalah untuk mengetahui bagaimana pandangan calon guru fisika terhadap representasi fisika. Indikator angket ini meliputi fungsi

atau manfaat representasi pada saat menyelesaikan soal, frekuensi penggunaan representasi, dan kesulitan menggunakan atau membuatnya. Reliabilitas angket dihitung menggunakan Alpha Cronbach. Hasil yang diperoleh sebesar 0,765 sehingga angket ini layak digunakan (Cortina, 1993; Wilcox & Lewandowski, 2016;).

Berdasarkan persentase sikap mahasiswa (Tabel 3), item no 1 menunjukkan bahwa lebih dari 80% mahasiswa menyatakan sudah pernah belajar representasi seperti diagram, grafik, persamaan matematis. Ini mengindikasikan mahasiswa sudah tidak asing lagi dengan jenis-jenis representasi dan cara menggambar. Namun ada sekitar 12% mahasiswa memiliki pandangan netral, hal ini dikarenakan mahasiswa belum sepenuhnya mempelajari semua jenis representasi. Selanjutnya 6% dari mahasiswa UNTAN dan 2% mahasiswa IKIP PGRI Pontianak menya-

**Tabel 3** Persentase respon mahasiswa secara umum

No	UNTAN (n=230)			IKIP PGRI Pontianak (n=57)		
	Setuju	Netral	Tidak Setuju	Setuju	Netral	Tidak Setuju
1	83	11	6	86	12	2
2	71	22	6	74	21	5
3	80	18	1	81	18	2
4	76	19	4	74	21	5
5	86	13	1	82	12	2
6	12	59	30	11	70	19
7	79	17	3	91	9	0
8	64	29	7	40	49	9
9	36	43	21	49	33	18
10	33	47	20	30	53	18



**Gambar 2** Grafik persentase respon mahasiswa untuk pertanyaan nomor 3.

takan belum pernah belajar representasi. Hal ini diakibatkan, karena mahasiswa belum pernah dikenalkan saat SMA dan tidak ditekankan pada saat perkuliahan.

Ketika mahasiswa ditanya frekuensi penggunaan representasi fisika, 71% mahasiswa Untan dan 74% mahasiswa IKIP PGRI Pontianak menyatakan sering menggunakannya ketika mengerjakan soal. Hasil penelitian Rosengrant et al

(2009) menunjukkan bahwa mahasiswa yang diajar menggunakan multirepresentasi pada saat kelas resitasi dan mahasiswa yang sering menggambar representasi dengan benar pada saat ujian memiliki skor yang lebih tinggi daripada yang tidak. Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa harus dilatih cara membuat representasi sehingga menjadi kebiasaan ketika menghadapi soal-soal fisika. Persentase mahasiswa yang mem-

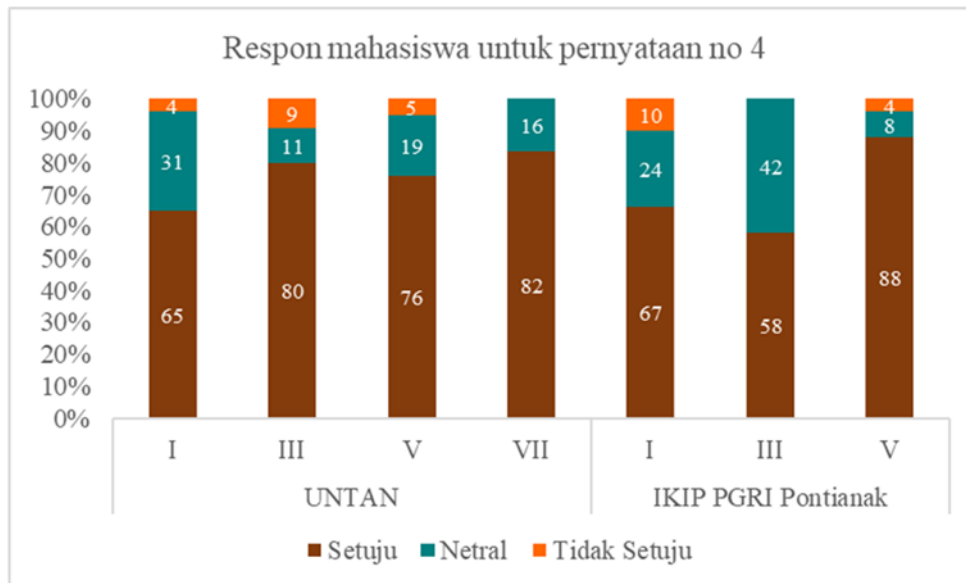
berikan respon netral 21%-22%. Hal ini dapat disebabkan karena mahasiswa tidak selalu menggambar representasi untuk setiap jenis soal. Bisa saja mahasiswa tidak menggambar representasi untuk kategori soal yang relatif mudah. Kemudian hanya 5% hingga 6% untuk mahasiswa dari kedua institusi menyatakan tidak setuju. Artinya mereka sangat jarang membuat representasi ketika berhadapan dengan soal fisika.

Sebanyak 80% responden menyatakan bahwa multirepresentasi berguna untuk memudahkan memahami soal, 18% mahasiswa memilih untuk netral, dan hanya sekitar 1% yang merasa tidak berguna. Jika dilihat dari jenjang semester seperti ditunjukkan pada gambar 2, hampir semua kelompok mahasiswa setuju dengan pernyataan tersebut yaitu di atas 75% kecuali semester I mahasiswa UNTAN memiliki 65% yang setuju untuk statemen tersebut. Salah satu alasan yang mungkin mengapa mahasiswa menggambar atau menggunakan representasi ketika mengerjakan soal fisika, mahasiswa lebih mudah mengidentifikasi variabel-variabel yang diketahui dan yang tidak diketahui. Disamping itu dengan menggambar sketsa atau diagram, mahasiswa memiliki kesempatan untuk memvisualkan soal dan mengidentifikasi konsep fisika sebelum memutuskan rumus fisika yang digunakan untuk menyelesaikan soal tersebut.

Pernyataan nomor 4 merupakan kegunaan multirepresentasi untuk memudahkan mencari jawaban yang benar. Persentase mahasiswa yang setuju tidak jauh berbeda untuk kedua institusi yaitu masing-masing 76% (UNTAN) dan 74% (IKIP PGRI

Pontianak). Persentase ini lebih rendah dibandingkan dengan item no 3 tentang multirepresentasi untuk memudahkan memahami soal. Ini artinya ada sebagian mahasiswa merasa bahwa dengan menggambar tidak otomatis akan memperoleh jawaban yang benar. Hal lain mahasiswa mungkin berpikir tidak perlu menggambar representasi seperti diagram jika soal fisika yang mereka kerjakan relatif mudah. Selanjutnya sekitar 20% mahasiswa memilih netral dan sementara hanya sekitar 5% yang menyatakan tidak setuju. Jika diperhatikan sebaran persentase respon mahasiswa untuk tiap semester, mahasiswa semester III IKIP PGRI Pontianak memiliki persentase yang paling rendah yaitu sebesar 58% yang setuju kemudian 65% mahasiswa semester I UNTAN (ditunjukkan pada gambar 3). Ini artinya semakin lama mahasiswa menggunakan multirepresentasi dalam belajar fisika berpengaruh terhadap respon mereka terhadap kegunaan multirepresentasi tersebut untuk mendapatkan solusi yang tepat ketika mengerjakan soal.

Kegunaan lain dari multirepresentasi yang ditanyakan dalam kuesioner adalah untuk membantu memahami konsep fisika. Sebanyak 86% mahasiswa UNTAN setuju dengan pernyataan tersebut dan sebesar 82% mahasiswa IKIP PGRI Pontianak merasa bahwa multirepresentasi dapat digunakan untuk memahami konsep fisika. Salah satu contoh representasi yaitu diagram energi dapat membantu mahasiswa memahami konsep usaha dan energi. Van Heuvelen & Zou (2001) mengembangkan representasi *energy bar charts* untuk membantu mahasiswa belajar konsep usaha dan ener-



**Gambar 2** Grafik persentase respon mahasiswa untuk pertanyaan nomor 4.

gi serta menunjukkan bahwa energi itu bersifat kekal. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa 84% responden menyatakan jenis representasi ini dapat membantu mereka memahami konsep lebih baik serta memahami soal dengan tepat. Disamping itu, sebagian mahasiswa berespon bahwa *energy bar charts* dapat membantu mereka memvisualkan jenis-jenis energi yang ada dalam soal. Penelitian yang dilakukan oleh Sirait et al (2017) juga menunjukkan ada korelasi positif antara kemampuan representasi vektor mahasiswa dengan kemampuan memahami konsep gaya (aplikasi hukum Newton pada konteks bidang datar, bidang miring, dan tegangan tali). Ini mengindikasikan bahwa representasi dapat membantu mahasiswa memahami konsep fisika

Selanjutnya, mayoritas mahasiswa memilih untuk netral dan tidak setuju bahwa mereka sudah ahli untuk merepresentasikan soal fisika ke bentuk representasi yang lain. Hal ini

diakibatkan karena mahasiswa kadang-kadang masih mengalami kesulitan ketika mentransformasi satu representasi ke representasi yang lain seperti mengubah bentuk matematis ke bentuk grafik dan sebaliknya. Sebagian mahasiswa mengalami kesulitan memahami arti slope dan dibawah kurva serta mengubah ke dalam bentuk persamaan matematis baik dalam konteks fisika dan matematika (Ivanjek, Susac, Planinic, Andrasevic, & Milin-Sipus, 2016). Kemudian mahasiswa juga mengalami kesulitan ketika mengubah bentuk dari tabel, persamaan matematis, dan grafik (Ceuppens, Deprez, Dehaene, & Cock, 2018).

Respon yang berbeda dari kedua kelompok mahasiswa calon guru tersebut adalah pada pernyataan nomor 8. Sebesar 64% mahasiswa UNTAN setuju bahwa mereka sering membuat gambar atau diagram meskipun tidak ada nilai tambah yang diberikan dosen. Sementara hanya 40% mahasiswa IKIP PGRI Pontia-



nak merespon setuju dengan pernyataan tersebut. Hal ini bisa dipengaruhi oleh instruksi yang diberikan oleh dosen pada saat mengerjakan soal kuis, tugas, dan ujian berbeda-beda sehingga ada sebagian mahasiswa menganggap bahwa kalau tidak diminta untuk menggambar atau tidak ada nilai tambah dari menggambar, mahasiswa merespon berbeda juga.

ARiF ini dapat digunakan oleh pengajar fisika di awal pembelajaran untuk menggali respon siswa maupun mahasiswa terhadap representasi sehingga pengajar dapat mengembangkan metode maupun strategi dalam mengajarkan representasi fisika sebagai upaya membantu peserta didik memahami konsep fisika.

#### **SIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian ini, secara umum mahasiswa tidak asing lagi dengan representasi fisika dan pernah belajar dengan jenis-jenis representasi tersebut. Mahasiswa memberikan respon yang positif terhadap kegunaan representasi ketika mengerjakan soal fisika yaitu dapat digunakan untuk membantu memahami konsep fisika, memahami soal, dan mencari jawaban yang tepat. Selain itu sebagian mahasiswa memberikan respon bahwa mereka tetap menggambar representasi walaupun tidak ada nilai tambah yang diberikan dosen. Namun mahasiswa mengalami kesulitan memahami representasi yang disajikan dalam buku teks.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan yaitu analisis yang lebih dalam terhadap respon mahasiswa. Untuk itu penelitian lebih lanjut perlu

dilakukan wawancara untuk mengetahui respon mahasiswa lebih dalam dan juga analisis hubungan antara sikap representasi mahasiswa dan kemampuan menyelesaikan soal.

Ucapan terimakasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui dana penelitian yang diberikan untuk melaksanakan penelitian ini. Tidak lupa juga ucapan terimakasih kepada program studi Pendidikan Fisika Universitas Tanjungpura dan program studi Pendidikan Fisika IKIP PGRI Pontianak atas ijin yang diberikan serta kepada mahasiswa yang sudah terlibat dalam penelitian ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D., & Wieman, C. E. (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The colorado learning attitudes about science survey. *PhysRevSTPER*, 2(1) 010101
- Aviani, I., Erceg, N., & Mešić, V. (2015). Drawing and using free body diagrams: Why it may be better not to decompose forces. *PhysRevSTPER*, 11(2) 020137
- Balta, N., Mason, A., & Singh, C. (2016). Surveying turkish high school and university student attitudes and approaches to physics problem solving. *PhysRevPhysEducRes*, 12(1) 010129

- Bollen, L., van Kampen, P., Baily, C., Kelly, M., & De Cock, M. (2017). Student difficulties regarding symbolic and graphical representations of vector fields. *PhysRevPhysEducRes*, 13 (2) 020109
- Carolan, J., Prain, V., & Waldrup, B. (2008). Using representations for teaching and learning in science. *Teaching Science*, 54(1), 18-23
- Ceuppens, S., Deprez, J., Dehaene, W., & Cock, M. D. (2018). Design and validation of a test for representational fluency of 9th grade students in physics and mathematics: The case of linear functions. *PhysRevPhysEducRes*, 14 (2) 020105
- Chen, Z., Demirci, N., Choi, Y., & Pritchard, D. E. (2017). To draw or not to draw? examining the necessity of problem diagrams using massive open online course experiments. *PhysRevPhysEducRes*, 13(1) 010110
- Cortina, J. M. (1993). What is coefficient alpha?. *Journal of Applied Psychology*, 78 (1) 98-104
- Fraenkel, J. R., Hyun, H. H., & Wallen, N. E. (2011). *How to design and evaluate research in education* (8. ed. ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Heckler, A. F. (2010). Some consequences of prompting novice physics students to construct force diagrams. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1829-1851)
- Ivanjek, L., Susac, A., Planinic, M., Andrasevic, A., & Milin-Sipus, Z. (2016). Student reasoning about graphs in different contexts. *PhysRevPhysEducRes*, 12 (1) 010106
- Klein, P., Müller, A., & Kuhn, J. (2017). Assessment of representational competence in kinematics American Physical Society. *PhysRevPhysEducRes*, 13 (1) 010132
- Mason, A., & Singh, C. (2010). Surveying graduate students' attitudes and approaches to problem solving. *PhysRevSTPER*, 6(2) 020124
- McPadden, D., & Brewe, E. (2017). Impact of the second semester university modeling instruction course on students' representation choice. *PhysRevPhysEducRes*, 13(2)
- Rakapao, S., & Prasitpong, S. (2018). Use of model analysis to analyse Thai students' attitudes and approaches to physics problem solving. *European Journal of Physics*, 39(2) 25707
- Redish, E. F., Saul, J. M., & Steinberg, R. N. (1998). Student expectations in introductory

- physics. *American Journal of Physics*, 66(3), 212-224
- Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., & Etkina, E. (2009). Do students use and understand free-body diagrams?. *PhysRevSTPER*, 5(1) 010108
- Savinainen, A., Makynen, A., Nieminen, P., & Viiri, J. (2013). Does using a visual-representation tool foster students' ability to identify forces and construct free-body diagrams?. *PhysRevSTPER*, 9(1) 010104
- Selling, S. K. (2016). Learning to represent, representing to learn. *Journal of Mathematical Behaviour*, 41, 191-209
- Sirait, J., Sutrisno, L., Balta, N., & Mason, A. (2017). The development of questionnaire to investigate students' attitudes and approaches in physics problem solving. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 13(2), 79-87
- Sirait, J., Hamdani, & Oktavianty, E. (2017). Analysis of pre-service physics teachers' understanding of vectors and forces. *Journal of Turkish Science Education*, 14(2), 82-95.
- Tippett, C. D. (2016). What recent research on diagrams suggests about learning with—rather than learning from visual representations in science. *International Journal of Science Education*, 38(5), 725-746
- Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work–energy processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184-194